بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

اندازه‌گیری تغییر ضریب شکست وابسته به دما در شیشه با استفاده از پراش فرنل از گوه فازی

یاسر دلیر قلعه جوقی و رسول عالی پور

دانشکده علوم، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز

چکیده - یک گوه فازی از یک تیغه شفاف با سطوح غیر موازی و با ضریب شکستی متفاوت از ضریب شکست محیط تشکیل می شود، بطوریکه گوه تنها فاز نور فرودی را تحت تاثیر قرار می دهد. وقتی گوه تحت فرود نور تک رنگ موازی قرار می گیرد به دلیل تغییر شدید فاز حاصل از تغییر ضریب شکست در مرز گوه با محیط ،پراش فرنل قابل ملاحظه می شود. شدت فریزهای پراش به دلیل تغییر اختلاف راه نوری باریکه نور حاصل از تغییر ضریب شکست در امتداد عمود بر لبه و به دلیل تغییر ضخامت در امتداد لبه تغییر می کند. اختلاف راه نوری به زاویه فرود نور، ضریب شکست گوه ، ضریب شکست محیط اطراف و زاویه گوه بستگی دارد. به دلیل تغییر ضخامت در امتداد لبه، فریزهای پراش به صورت تناوبی در راستای منطبق بر لبه با گام مشخص تغییر خواهد کرد. در این مقاله به بررسی تغییر ضریب شکست وابسته به دما در شیشه می‌پردازم. برای اینکار یک گوه شیشه‌ای از یک انتها توسط هیتر در محیط خلاء گرم می-شود. اختلاف دما در شیشه منجر به تغییر ضریب شکست گوه و در نتیجه تغییر اختلاف راه نور عبوری از میان گوه می‌شود. نتیجه آن به صورت تغییر گام فریزهای پراش متناوب در امتداد لبه می‌شود. با اندازه‌گیری تغییر گام فریزها، تغییر ضریب شکست وابسته به دما اندازه‌گیری می‌شود.

کلید واژه- دما، پراش فرنل، اندازه گیری فاز.

Measuring temperature related refractive index change in optical glass by Fresnel diffraction from phase wedge.

Yaser Delir ghale joghi and Rasoul Aalipour

Faculty of Science, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz

Abstract- A phase wedge is formed by a transparent slab with non-parallel surfaces and a refractive index different from the refractive index of the surrounding medium. When a monochromatic light beam illuminates the phase wedge, due to the abrupt change in the phase of the incident light, Fresnel diffraction becomes appreciable. The intensity of the diffraction fringes varies due to the change of the optical path difference (OPD) of the beam passing through the wedge. The OPD is happened due to the refractive index change along perpendicular to the edge and the change of the thickness along the edge of the wedge. The OPD dependents to the incident angle of the light, refractive index of the wedge, refractive index of the surrounding medium, and angle of the wedge. Due to change of the thickness alonge the edge of the wedge, the diffraction fringes appears as periodic fringes with a specified pitch along the edge. In this paper, we consider the temperature related refractive index in optical glass. For this work, an optical wedge is heated from one end by a heater in vacuum. The temperature difference casues a refractive index change in the optical glass. So the OPD of the beam passing through the wedge is varied. As a result, the pitch of the periodic fringes varies. By measuring the pitch changing, we obtain the temperature related refractive index change in optical glass.

Keyword: Fresnel diffraction, phase wedge, refractive index, temperature

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۱-مقدمه

آگاهی از دمای اجسام و نمایه دمای پیرامون از دیدگاه تولید و انتقال گرما مهم است[۱]. دما را در دوحالت می توان اندازه‌گیری کرد : ۱)روش‌های تماسی با انواع مختلف دماسنج ها و ترموکوپل‌ها ۲) روشهای غیر تماسی که اکثراً بر پایه تکنیک های مختلف نوری است. در روش‌هایی که دماسنج بطور مستقیم در تماس با جسم گرم قرار می‌گیرد به دلیل وجود دو جرم در تماس مقدار دمای اندازه‌گیری شده کاملاً دقیق نیست و حتی در بعضی حالت‌ها امکان تخریب جسم در صورت تماس وجود دارد. اما روش‌های نوری، روشهایی کاملاً غیر مخرب و دقیق هستند. روش‌های نوری بر حسب اینکه باریکه نور هنگام عبور از محیط گرم از مسیر خود منحرف شود یا نه به دو دسته تقسیم می‌شوند: تکنیک‌هایی همچون شرن (schlieren) و انحراف سنجی ماره که بر اساس اندازه گیری انحراف باریکه نور عبور کرده ار محیط گرم کار می کنند [۲]. در شرایطی که انحراف باریکه نور قابل چشم پوشی است، تکنیک‌هایی همچون تداخل سنجی چینشی و تمام نگاری که بر اساس اندازه گیری تغییر فاز موج عبور کرده از محیط گرم کار می کنند، استفاده می‌شوند[۳].روشی که در اینجا ارائه می شود، بر پایه پراش فرنل از جسم فازی است. و ملاک اندازه‌گیری تغییر شدت و تناوب فریزهای نقش پراش فرنل است. ما با استفاده از نقش پراش فرنل از یک گوه شیشه ای به اندازه گیری ضریب شکست وابسته به دما در شیشه می پردازیم. این روش قابل استفاده برای مایعات وجامدات وگازها است، که هیچ محدودیتی روی بازه ی ضریب شکست تحمیل نمی کند و می تواند به راحتی بکار گرفته شود و با کمترین لوازم، ضریب شکستی با عدم قطعیت نسبی از مرتبه $\mathbf{10^{-5}}$ فراهم می کند.

۲-پراش فرنل از گوه فازی

گوه فازی از یک تیغه شفاف با سطوح غیر موازی و با ضریب شکستی متفاوت از ضریب شکست محیط پیرامون تشکیل می شود. شکل (۱)، یک گوه فازی را نشان می دهد که تحت فرود نور قرار گرفته است. وقتی باریکه نور همدوس به گوه شیشه ای فرود می آید بخشی از باریکه ی نور یک تغییر تند در فاز را تجربه می کند و در نتیجه شدت سرتاسر باریکه ی شکست یافته یا عبور کرده از قسمت تحت تاثیر قرار گرفته، دوباره توزیع می یابد. توزیع مجدد شدت بطور کامل توسط پراش فرنل نور از پله فازی یک بعدی توصیف می شود. توزیع شدت پراش فرنل از پله فازی یک بعدی با رابطه زیر بیان می شود:

$$I_n = \cos^2(\frac{\phi}{2}) + 2(C_0^2 + S_0^2)\sin^2(\frac{\phi}{2}) \mp (C_0 - S_0)\sin(\phi) \quad (۱)$$

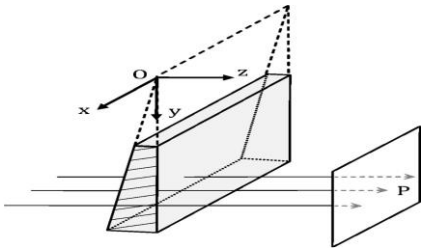
که

$$C_0 = \int_0^{v_0} \cos\frac{\pi v^2}{2} dv$$

$$S_0 = \int_0^{v_0} \sin\frac{\pi v^2}{2} dv$$

انتگرال فرنل هستند[۴].

برای گوه فازی چون سطوح دارای زاویه کوچک نسبت به هم هستند در نتیجه ضخامت گوه در امتداد لبه به صورت زیر تغییر خواهد کرد:



شکل ۱ : پرتو نور عبوری از یک گوه فازی با زاویه α و ضریب شکست N در محیط شفاف با ضریب شکست'N [۵].

$$d = y\tan\alpha \ . \quad (۲)$$

که در این رابطه y، مختصه در امتداد لبه گوه شیشه ای و α زاویه گوه است. از این رو اختلاف راه نوری در امتداد لبه مطابق رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta = N' y\tan\alpha\{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} - \cos\theta\} . \quad (۳)$$

که در معادله $n = \frac{N}{N'}$ است. متعاقباً تغییر فاز به اختلاف راه نوری به صورت زیر مربوط می شود :

$$\phi(y) = k\Delta(y) . \quad (٤)$$

برای حالت فرود عمود ($\theta=0$)، تغییر فاز با استفاده از روابط (۴-۲) به صورت زیر تعیین می گردد:

$$\phi(y) = \frac{2\pi y}{\lambda}(N-1)\tan\alpha . \quad (۵)$$

برای حالتی که تغییر فاز در امتداد لبه بیش از π باشد، که این با انتخاب زاویه گوه مناسب میسر می شود، فریزهای پراش در امتداد لبه به صورت فریزهای تاریک و روشن متناوب ایجاد می شوند. لذا می توان تغییر فاز در امتداد لبه

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

را برای این فریزهای متناوب به صورت زیر بنویسیم[۵].

$$\phi = \frac{2\pi}{\rho} y \quad (۶)$$

که ρ گام فریزها در امتداد لبه گوه است.

حال با مقایسه معادله های (۵) و (۶) گام فریزها با رابطه زیر بدست می آید:

$$\rho = \frac{\lambda}{(N-1)\tan\alpha} \quad (۷)$$

با اندازه گیری گام فریزها و با در دست داشتن زاویه α می توان ضریب شکست گوه شیشه ای را به صورت زیر تعیین کرد:

$$N = 1 + \frac{\lambda}{\rho \tan\alpha} \quad (۸)$$

۳-اندازه گیری تغییر ضریب شکست وابسته به دما

فرض کنید که گوه شیشه ای را از یک انتها گرم کنیم اگر تغییر ضریب شکست وابسته به دما را با $\delta n(T)$ نشان دهیم، آنگاه برای تغییر فاز با استفاده از رابطه (۵)خواهیم داشت:

$$\phi = \frac{2\pi y}{\lambda}(N + \delta n - 1)\tan\alpha \quad (۹)$$

لذا ضریب شکست مربوط به شیشه داغ با رابطه زیر بیان می شود:

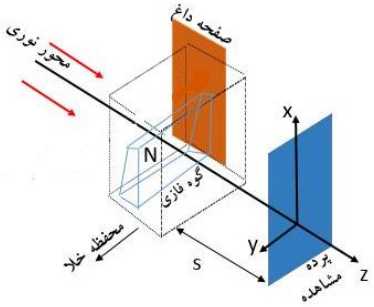
$$N + \delta n(T) = 1 + \frac{N}{\rho' \tan\alpha} \quad (۱۰)$$

ρ' گام جدید فریزهاست. بدین معنا که تغییر ضریب شکست وابسته به دما، گام فریزها در امتداد لبه تیغه را تغییر داده است. بنابراین تغییر ضریب شکست وابسته به دما را می توان با استفاده از دو معادله (۸) و (۹) به صورت زیر بدست آورد :

$$\delta n(T) = \frac{\lambda}{\tan\alpha}\left(\frac{1}{\rho'} - \frac{1}{\rho}\right) \quad (۱۱)$$

۴-کارهای تجربی و نتایج به دست آمده

مطابق شکل(۲) یک باریکه نور موازی لیزر با طول موج λ=632.8nm در راستای محور z به یک گوه شیشه ای با زاویه $\alpha = .016^0$ فرود می آید به طوری که لبه گوه در امتداد محور y است. در اینجا گوه شیشه ای در داخل یک محفظه خلاء شامل جداره های شیشه ای برای ورود و خروج نور قرار گرفته است. بطوریکه یک انتهای گوه شیشه ای از دیواره محفظه به منظور تحت حرارت قرار دادن گوه، بیرون قرار داده شده است. هوای داخل این محفظه توسط یک پمپ خلاء تا فشار $10^{-3} tor$ تخلیه شده است. با استفاده از یک هیتر گوه شیشه ای را از یک انتها گرم می کنیم. در چنین حالتی صفحه داغ هیتر فقط خود گوه شیشه ای را گرم می‌کند و تأثیری روی محیط پیرامون آن (به دلیل خلاء بودن) نمی‌گذارد. چون تغییر دما در امتداد لبه گوه شیشه-ای و در فاصله‌ای نسبتاً دور از سطح صفحه داغ تقریباً ثابت است، بنابراین از گرادیان دما در امتداد لبه صرفنظر می‌کنیم و تنها دمای گوه را در چند نقطه در زمانهای متفاوت اندازه می‌گیریم. شدت میدان پراشیده از لبه گوه بر روی صفحه یک دوربین ccd (با ابعاد $3888 * 2592$ پیکسل و اندازه هر پیکسل $5.7\mu m$) عمود بر راستای پرتو و به فاصله s از تیغه ثبت می شود.

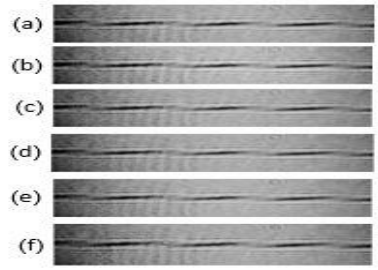


شکل ۲: طرح شماتیک از چیدمان آزمایش

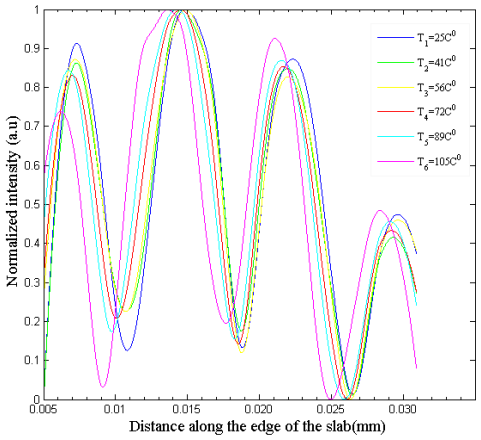
بعد از اینکه لیزر گوه شیشه ای را در محفظه خلاء روشن کرد، نقش فریز میدان پراشیده از گوه شیشه ای را توسط دوربین ثبت می کنیم. نقش فریز در شکل ۳a نشان داده شده است. سپس هیتر را روشن می کنیم. هیتر گوه شیشه ای در محفظه خلاء را از یک انتها گرم می کند. در چنین حالتی نقش فریز پراش را در چند دمای مختلف گوه ثبت می کنیم. نقش فریزها پراش از تیغه گرم شده در دماهای مختلف در شکل ۳ b-f نشان داده شده است. برای اینکه تغییر گام فریز متناوب مرکزی پراش در دماهای مختلف را اندازه گیری کنیم. نمایه مربوط به شدت فریز نقش های پراش را مطابق شکل (۴) رسم می‌کنیم. از روی نمایه شدت فریز مرکزی نقش پراش از گوه، گام فریزها مطابق جدول (۱) اندازه گیری شده است.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]



شکل۳: نقش پراش فرنل از گوه شیشه ای با زاویه گوه $\alpha = 0.016^0$ (a) برای گوه در دمای اتاق T=25℃، (b) در دمای T=41℃ ، (c) در دمای T=56℃ ، (d) در دمای ℃ T=72، (e) در دمای T=89 ℃ و (f) در دمای T=105℃ .



شکل۴: نمایه شدت فریز مرکزی نقشهای پراش از گوه در دماهای مختلف.

جدول۱: گام فریزهای متناوب نقش های پراش از گوه در دماهای مختلف

دمای T(℃)	۲۵	۴۱	۵۶	۷۲	۸۹	۱۰۵
ρ(mm)	۴/۲	۴/۳	۴/۳۵	۴/۴	۴/۵	۴/۶

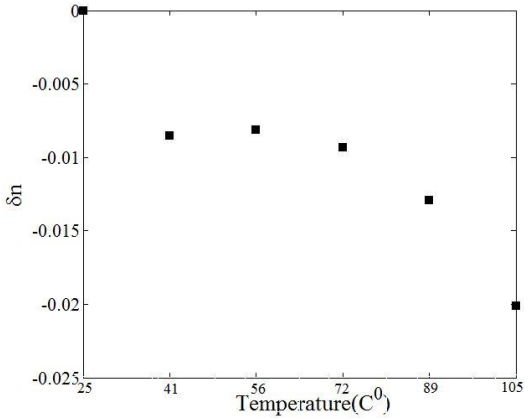
از روی مقدار گام فریز نقش پراش مربوط به دمای اتاق بااستفاده از مشخصات آزمایش $\lambda = 632.8nm$ ضریب شکست تیغه از معادله (۸) به صورت زیر بدست می آید:

$$N = 1 + \frac{\lambda}{\rho \tan \alpha}$$

$$N = 1 + \frac{.632 \times 10^{-3}}{4.23 \times 3 \times 10^{-4}}$$

$$N = 1 + .4988 = 1.4988 \qquad (۱۲)$$

تغییر ضریب شکست وابسته به دما برای گوه شیشه ای در دماهای مختلف با استفاده از معادله (۱۱) محاسبه شده و در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: تغییرات ضریب شکست وابسته به دما بر حسب دما.

۵-نتیجه گیری

در این مقاله نشان دادیم که روش پراش فرنل از گوه فازی یک تکنیک جدید و مقرون به صرفه برای اندازه‌گیری ضریب شکست است. با استفاده از پراش فرنل از یک گوه شیشه ای تغییر ضریب شکست وابسته به دما را به صورت تجربی اندازه گیری کردیم. این تکنیک قابلیت این را دارد که ضریب شکست را با دقتی از مرتبه 10^{-5} اندازه گیری کند، لذا می‌توانیم از این روش در محیط های فازی مختلف برای اندازه گیری کمیت های مختلف فیزیکی استفاده کنیم.

مراجع

[1] W. Hauf and U. Grigull, Optical methods in heat transfer, in Advances in Heat Transfer, J.P. Hartentt and T.F. Irvine, Jr, eds. (Academic, 1970), Vol.6, pp. 133-366

[2] L. Zhang, J.P.Petit, and J. Taine, " Measurements of temperature profiles in gases by laser beam deflection," Rev. Phys. App.24,401-410 (1989).

[3] H.R. Nagendra, M.A Tirunarayanan, and A. Ramachandra, "freeconvection heat transfer from vertical cylinders and wire," Chem. Eng. Sci.24, 1491-1495(1969).

[4]M.T.Tavassoly, M. Amiri, A.Darudi, R. Aalipour, A. Saber and A.R.Moradi,"Optical diffractometry."J. Opt.Soc.Am.A 26,pp 540-547(2009).

[5]M.Taghi Tavassoly and Ahad Saber,"Optical refractometry based on Fresnel diffraction from a phase wesge" Opt, Lett.35(21),pp.3679-81 (2010).

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]